



EVALUATION DE L'ACTIVITE ANTAGONISTE ENTRE MICROORGANISMES LIGNICOLES: RECHERCHE DES POSSIBILITES D'UTILISATION EN PRESERVATION DES POTEUX ELECTRIQUES D'HYDROQUEBEC



Alba ZAREMSKI- Louis GASTONGUAY
13 Novembre 2009

RESUME

Cette étude menée au CIRAD concerne l'activité antagoniste de trois ascomycètes du genre *Trichoderma* : *Trichoderma konigii*, *Trichoderma harzianum* et *Trichoderma viride*, par confrontations directes en boîtes de Pétri et dans le bois des poteaux électriques d'HydroQuébec vis-à-vis de deux basidiomycètes de pourriture fibreuse *Pycnoporus sanguineus* et *Coriolus versicolor* et vis-à-vis de deux basidiomycètes de pourriture cubique, *Antrodia* sp. et *Coniophora puteana*.

Les résultats obtenus semblent se compléter généralement de façon cohérente. Ils montrent la non-agressivité du groupe des champignons des *Trichoderma* vis-à-vis du bois et les résultats obtenus après les confrontations directes en boîtes de Pétri se confirment dans le bois.

Les confrontations directes, en boîtes de Pétri, des différents basidiomycètes et antagonistes pris deux par deux, nous permettent effectivement de mettre en évidence un effet d'antagonisme pour une grande majorité des couples. Toutefois, il existe une grande variabilité dans les réactions d'un couple à l'autre. Ainsi, le mode d'antagonisme d'un même *Trichoderma* peut varier d'un basidiomycète à l'autre, et inversement un même basidiomycète pourra répondre différemment à chaque antagoniste qui lui est opposé.

SOMMAIRE

RESUME.....	2
LISTE DES DES FIGURES ET DES TABLEAUX.....	4
I. INTRODUCTION.....	5
II. ETAT ACTUEL DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES.....	6
2.1 Les champignons lignivores.....	6
2.2. Effet antagoniste du genre <i>Trichoderma</i>	6
2.3. Problématique des poteaux électriques d’Hydro-Québec : <i>Quelques chiffres</i>	7
2.4 Objectif de l’étude.....	7
III. MATERIELS BIOLOGIQUES.....	8
3.1. Echantillonnage dans les poteaux électriques non traités.....	8
3.2. Choix des champignons.....	8
IV. METHODES.....	8
4.1. Confrontation directe « basidiomycète/ antagoniste » en boîte de Pétri.....	8
4.1.1. <i>Résultats</i>	9
4.1.2. <i>Conclusion</i>	12
4.2. Etude du pouvoir antagoniste de <i>Trichoderma</i> vis-à-vis des basidiomycètes dans le bois des poteaux électriques d’HydroQuébec.....	12
4.2.1. <i>Détermination du pouvoir lignivore</i>	13
4.2.2. <i>Méthodologie</i>	14
4.2.3. <i>Résultats</i>	15
4.2.4. <i>Conclusion</i>	16
V. CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES.....	16

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

- Figure 1 : *Trichoderma konigii-Coniophora puteana*
- Figure 2 : *Trichoderma konigii-Antrodia sp.*
- Figure 3 : *Trichoderma konigii-Coriolus versicolor*
- Figure 4 : *Trichoderma konigii-Pycnoporus sanguineus*
- Figure 5 : *Trichoderma harzianum-Coriolus versicolor*
- Figure 6 : *Trichoderma harzianum-Pycnoporus sanguineus*
- Figure 7 : *Trichoderma viride-Coniophora puteana*
- Figure 8 : *Trichoderma viride-Coriolus versicolor*
- Figure 9 : *Trichoderma harzianum-Coniophora puteana*
- Figure 10 : *Trichoderma viride- Antrodia sp.*
- Figure 11 : *Trichoderma harzianum - Antrodia sp.*
- Figure 12 : *Trichoderma viride-Pycnoporus sanguineus*
- Figure 13 : Eprouvette infestée par *Trichoderma viride* et mise en présence avec *Coniophora puteana*
- Figure 14 : Eprouvette infestée par *Trichoderma viride* après 6 semaines mise en présence avec *Antrodia sp.*
- Tableau 1 : Pertes de masse en % des éprouvettes observées après 6 semaines d'exposition.

I. INTRODUCTION

Les milieux biologiques comportent un certain nombre de populations microbiennes et, dans une niche écologique donnée, ces microorganismes font état de diverses relations pouvant aller de la symbiose au parasitisme.

Depuis une cinquantaine d'années, les chercheurs se sont intéressés à ces types de relation en particulier sur un type de relation bien particulier, celui des antagonismes s'exerçant entre les individus d'une même population microbienne.

C'est surtout dans le domaine de la phytopathologie que ces relations trouvent une application dans le contrôle vis-à-vis des microorganismes associés à des processus de dégradation (agents parasites du sol, des fruits, des feuilles, des graines, de la vigne, etc.). Une bibliographie conséquente démontre l'intérêt porté à ce sujet et montre que certains genres de champignons exercent une activité antagoniste évidente vis-à-vis d'un grand nombre d'autres espèces fongiques, lignicoles, lignivores ou non. C'est le cas principalement des genres *Trichoderma* dont le spectre d'action est très large et très varié.

Ces phénomènes d'antagonismes présentent donc un intérêt certain dans la lutte biologique et plus particulièrement dans le cadre de la prévention des bois contre les agents biologiques destructeurs tels que : les basidiomycètes, agents de pourritures des bois ; les *Fungi imperfecti* et les Ascomycètes, agents de bleuissement et de pourriture molle.

Les recherches effectuées jusqu'à présent sur les microorganismes antagonistes lignicoles montrent qu'il existe probablement certaines possibilités d'utiliser ces phénomènes dans la protection du bois, l'un des avantages majeur est d'éviter l'utilisation de certains pesticides présentant des inconvénients dans leur utilisation, en particulier dans le domaine de la santé et de l'environnement. Actuellement, la préservation du bois se réalise dans un contexte réglementaire normatif utilisant des règles (lois nationales, directives européennes comme la Directive Biocide 98/8/CE , des normes ISO, EN et NF, etc) qui assurent un niveau élevé de protection de l'homme et de l'environnement vis-à-vis des produits chimiques

Aujourd'hui, le rôle joué par les agents biologiques, faisant intervenir des substances antibiotiques ayant un pouvoir inhibiteur ou destructeur, montre un certain intérêt dans les possibilités de contrôle vis-à-vis des microorganismes associés à ces processus de dégradation.

Les travaux menés par HydroQuébec et le CIRAD porteront sur deux types d'expérimentation : 1) en boîtes de Pétri afin d'évaluer et de caractériser le pouvoir antagoniste de *Trichoderma* vis-à-vis

de champignons de pourriture fibreuse et cubique; 2) sur des éprouvettes de poteaux électriques non traités afin d'étudier au sein du bois, la confrontation entre le basidiomycète et la souche antagoniste.

II. ETAT ACTUEL DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES

2.1. Les champignons lignivores

Les champignons lignivores se nourrissent de la lignine et/ou de la cellulose qui constitue l'essentielle des parois des cellules du bois. La majorité des champignons lignivores sont compris dans les phylums des basidiomycètes et des ascomycètes.

Les champignons lignivores se développent et attaquent généralement l'aubier dans un premier temps car c'est la partie la plus vulnérable du bois. La première phase de l'attaque par le champignon est souvent visible par un changement de la coloration du bois. Dans un second temps, la dégradation des composés de la paroi des cellules du bois entraîne une perte de son volume et de son poids, il devient friable et inutilisable.

Les champignons lignivores sont classés en fonction de leur mode de dégradation ; on y trouve en particulier les champignons de pourriture fibreuse qui dégradent préférentiellement la lignine et les champignons de pourriture cubique qui s'attaquent principalement à la cellulose.

2.2. Effet antagoniste du genre *Trichoderma*

Les antagonistes sont la manifestation de la compétition pour l'occupation du bois sous diverses formes : utilisation des nutriments contenus dans les substances de réserves du bois, émission de métabolites inhibiteurs de la germination des spores, actions mécaniques (enroulements, etc.), sécrétions d'enzymes de lyse et d'antibiotiques.

De nombreuses études sur les phénomènes d'antagonismes entre microorganismes et champignons ont été menées dans une perspective de lutte biologique avec des résultats notables en phytopathologie et dans le domaine de la préservation des bois d'œuvre.

Le genre *Trichoderma* regroupe un ensemble de champignons imparfaits saprophytes qui se retrouvent couramment dans le sol, sur le bois mort et les débris végétaux. *Trichoderma* est un champignon qui décompose naturellement la cellulose et à un degré moindre, la lignine. C'est également un des agents de lutte biologique le plus connu dans le monde et de nombreux travaux de recherche sont en cours afin de fournir aux producteurs l'accès à son potentiel antagoniste.

2.3. Problématique des poteaux électriques d'Hydro-Québec : *Quelques chiffres*

Hydro-Québec compte sur son réseau un inventaire d'environ 2,5 millions de poteaux de bois lesquels peuvent varier entre 11 et 18 m de longueur et dont la base peut atteindre entre 48 à 60 cm de diamètre.

Ces poteaux servent à supporter les fils de divers services publics (électricité, téléphone, câble) et sont utilisés pour la distribution des lignes électriques basse tension aux résidences et aux commerces. Ceux-ci peuvent aussi occasionnellement supporter des transformateurs. Les essences utilisées sont le pin rouge (aubier d'environ 4 cm) et le pin gris (aubier de 2 cm environ). Ces poteaux sont à peu près équivalents à des pins sylvestres.

Les poteaux ont été traités au PCP (PentaChloroPhénol) avant 2002 puis au CCA (arséniate de cuivre chromaté) après 2002. Le CCA n'est pas encore interdit au Canada pour les applications industrielles comme les poteaux de bois des compagnies d'utilité. Le CCA rend le bois plus dur et demeure encore un bon agent de préservation des bois et cela pendant au moins 50 ans. Hydro-Québec utilise un additif polymère pour réduire la dureté du bois et permettre une meilleure grimpabilité.

Aujourd'hui le programme d'entretien ou l'inspection des poteaux traités au PCP devrait se réaliser après 20 ans, 30 ans et 40 ans après la mise en place des poteaux. Le projet devrait commencer en 2008 avec l'inspection d'environ 20 000 poteaux.

La capacité mécanique résiduelle du poteau après 20 ans de service détermine si celui-ci doit être changé ou non. Si le poteau est gardé en service, un retraitement avec des tiges Cobra est fait pour rehausser localement, à la ligne de sol, la toxicité du bois.

Cependant l'usage des pesticides reste toujours prédominant malgré le coût et les dommages que leur emploi peut provoquer sur l'environnement.

2.4 Objectif de l'étude

Afin de rechercher une nouvelle méthode de protection des poteaux électriques d'HydroQuébec, une étude sera menée par le CIRAD sur les phénomènes biologiques mis en jeu lors d'interactions antagonistes visant à un meilleur respect de l'environnement.

Cette étude fait appel à des compétences scientifiques liées aux interactions « microorganismes bois environnement ». Le CIRAD développe des compétences concernant la durabilité naturelle ou conférée du bois vis-à-vis des agents biologiques et de nouvelles compétences dans les possibilités de contrôle vis-à-vis de microorganismes associés à des processus de dégradation des bois.

Ce travail contribuera à la mise au point d'une méthode de contrôle de l'efficacité des champignons antagonistes du genre *Trichoderma* vis-à-vis des basidiomycètes qui dégradent les bois des poteaux électriques d'HydroQuébec.

III. MATERIELS BIOLOGIQUES

3.1. Echantillonnage dans les poteaux électriques non traités

Dans un poteau électrique, en pin rouge et non traité, des carottes de 5 mm de diamètre et d'environ 5 cm de longueur ont été prélevées dans l'aubier.

3.2. Choix des champignons

- Les champignons lignivores choisis parmi la collection de souches pures du CIRAD sont deux champignons de pourriture fibreuse : *Pycnoporus sanguineus*, basidiomycète de zone tropicale et *Coriolus versicolor*, de zone tempérée et deux de pourriture cubique : *Antrodia sp.*, basidiomycète de zone tropicale et *Coniophora puteana* de zone tempérée.

Ces quatre champignons tous des basidiomycètes ont été choisis pour leur pouvoir lignivore et leur mode d'action bien connus.

- Les organismes saprophytiques antagonistes sont les trois souches pures du genre *Trichoderma* : *Trichoderma konigii*, *Trichoderma harzianum* et *Trichoderma viride* provenant du Centraalbureau voor Schimmelcultures, Utrecht, The Netherlands (CBS). L'action antagoniste de ces ascomycètes a déjà été démontrée.

III. METHODES

4.1. Confrontation directe « basidiomycète/ antagoniste » en boîte de Pétri

Les colonies de chacun des trois antagonistes sont confrontées au mycélium en croissance de chacune des quatre souches de champignons lignivores et étudiées selon le protocole suivant :

- Dans une boîte de Pétri de 10 cm de diamètre contenant 20 ml de milieu gélosé Malt-Agar (20/40) stérile à p.H d'environ 6, il est déposé deux inoculats à 60 mm l'un de l'autre, symétriquement par rapport au centre de la boîte. Les inoculats doivent être le plus petit possible et

proviennent de cultures pures âgées de quelques jours seulement. Les confrontations ont été réalisées dans des étuves à la température de 27°C.

- Pendant les jours suivant l'inoculation, les croissances radiales de chaque champignon sont mesurées et comparées à des témoins se développant seuls dans une boîte de Pétri. Les mesures sont effectuées tous les jours à heure fixe pendant 7 jours.

Chacune des valeurs consignées est une valeur moyenne établie à partir de mesures effectuées dans les 60 boîtes de Pétri (5 répétitions ou boîtes X 4 basidiomycètes X 3 antagonistes = 60 boîtes).

4.1.1. Résultats

- Dans 50% des cas étudiés les *Trichoderma* se développent sur l'ensemble des boîtes de Pétri quelque soit le basidiomycète avec lequel il est en compétition. Ils se développent et recouvrent l'ensemble des boîtes de Pétri. Les basidiomycètes n'ont pas le temps de se développer et sont littéralement étouffés. Les couples concernés sont tous les couples avec *Trichoderma konigii* (cf. figures de 1 à 4), les couples *T. harzianum* / *C. versicolor* et *T. harzianum* / *P. sanguineus* (cf. figures de 5 à 6).



Figure 1 : *Trichoderma konigii*-*Coniophora puteana*

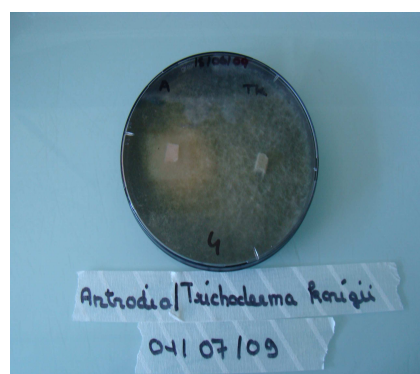


Figure 2 : *Trichoderma konigii*-*Antrodia* sp.



Figure 3: *Trichoderma konigii*-*Coriolus versicolor*



Figure 4 : *Trichoderma konigii*-*Pycnoporus sanguineus*



Figure 5 : *Trichoderma harzianum*-*Coriolus versicolor*

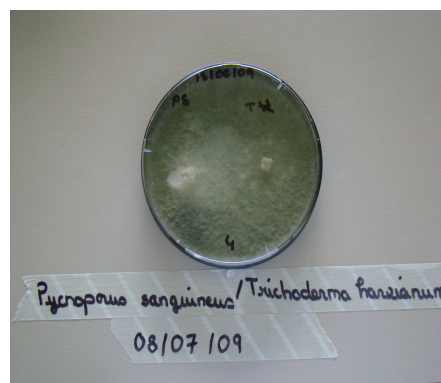


Figure 6 : *Trichoderma harzianum*-*Pycnoporus sanguineus*

- Dans 25% des cas, on constate un ralentissement de la croissance des champignons mis en présence lorsqu'ils se trouvent à 1 cm environ l'un de l'autre. La croissance se poursuit dans tous les cas jusqu'au contact des deux colonies (basidiomycètes et antagonistes) en présence et on assiste à une interpénétration des 2 champignons suivie généralement par l'arrêt de la croissance des basidiomycètes et des antagonistes. On observe cela chez les couples *Trichoderma viride*/*Coniophora puteana* (figure 7); *Trichoderma viride*/*Coriolus versicolor* (figure 8) et *Trichoderma harzianum* / *Coniophora puteana* (figure 9).

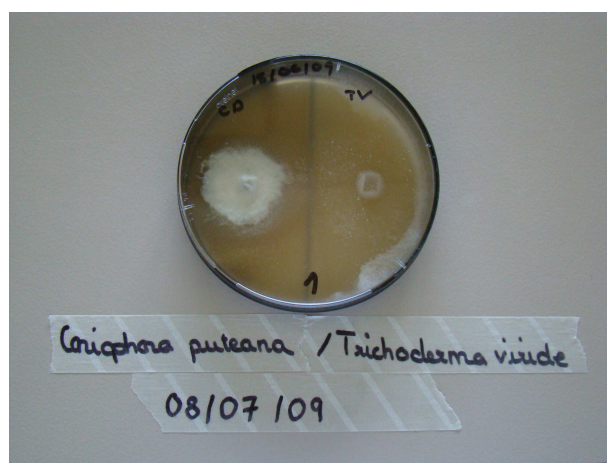


Figure 7 : *Trichoderma viride*/*Coniophora puteana*

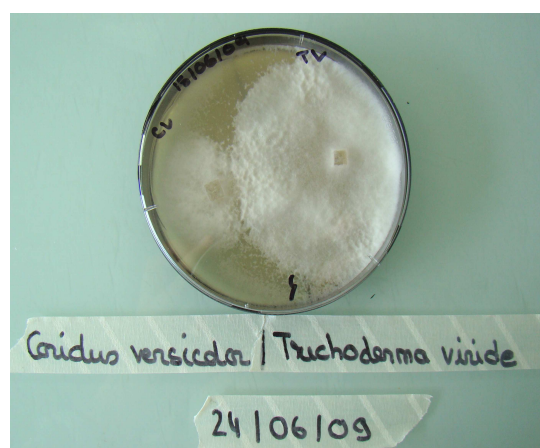


Figure 8 : *Trichoderma viride*/*Coriolus versicolor*

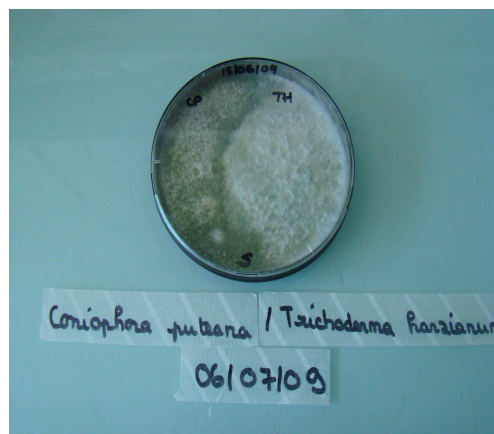


Figure 9: *Trichoderma harzianum* / *Coniophora puteana*

- Dans 17%, la courte période d'interpénétration est suivie par l'arrêt de la croissance des deux champignons en présence. Dans ce cas, toute la surface disponible dans la boîte de Pétri est occupée et les deux champignons, aussi bien antagoniste que basidiomycète, sont bloqués. Ce phénomène affecte les couples *Antrodia* sp./*Trichoderma viride* (figure 10) et *Trichoderma harzianum*/*Antrodia* sp. (figure 11).

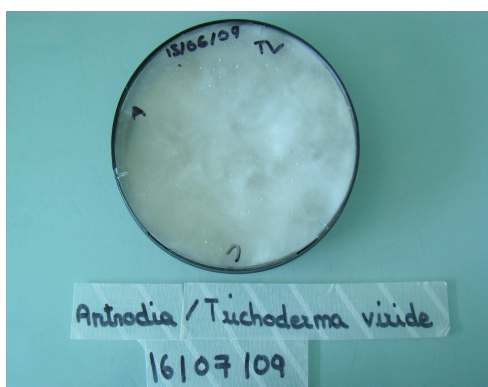


Figure 10 : *Antrodia* sp./ *Trichoderma viride*

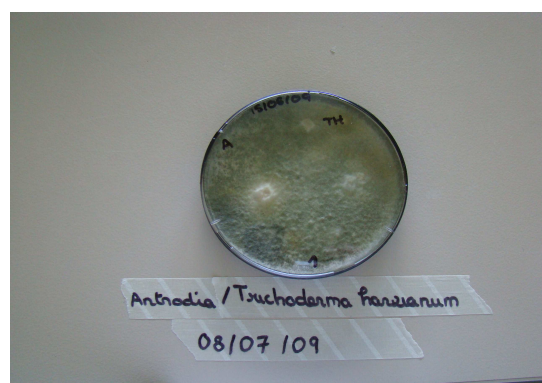


Figure 11 : *Trichoderma harzianum*/*Antrodia* sp

- Dans 8% des cas, ce sont les basidiomycètes qui dominant la situation. Pour le couple *Pycnoporus sanguineus*/*Trichoderma viride* on observe tout d'abord un contact des deux colonies suivi de l'interpénétration et d'une régression de *Trichoderma* (figure 12).

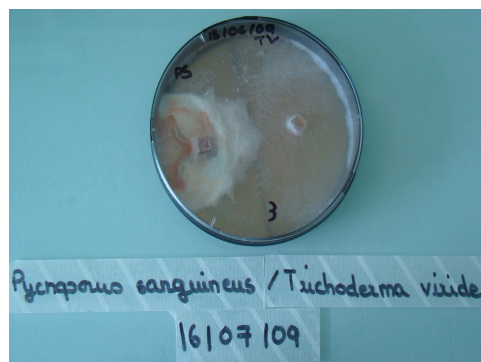


Figure 12 : *Trichoderma viride* / *Pycnoporus sanguineus* /

4.1.2. Conclusion

Les confrontations directes, en boîtes de Pétri, des différents basidiomycètes et antagonistes pris deux par deux, nous permettent effectivement de mettre en évidence un effet d'antagonisme pour une grande majorité des couples. Il semble que *Trichoderma konigii* et *Trichoderma harzianum* soient des antagonistes efficaces vis-à-vis des basidiomycètes. Cependant, il existe une grande variabilité dans les réactions d'un couple à l'autre. Ainsi, le mode d'antagonisme d'un même *Trichoderma* peut varier d'un basidiomycète à l'autre, et inversement un même basidiomycète pourra répondre différemment à chaque antagoniste qui lui est opposé.

On remarque que le phénomène d'antagonisme est favorisé par la grande vitesse de croissance des *Trichoderma* et leur capacité à se développer sur les basidiomycètes de pourriture.

Si on laisse l'expérience se poursuivre, on aboutit à une certaine inertie dans chaque boîte de Pétri, inertie qui est probablement due à l'épuisement des sources nutritives.

Pour l'instant, ces phénomènes observés ne tiennent compte que de la notion de place disponible et de place occupée expérimentations, devraient mettre en évidence les productions d'antibiotiques et d'autres mécanismes d'antagonisme (étude sur les substances diffusibles et volatiles).

4.2. Etude du pouvoir antagoniste de *Trichoderma* vis-à-vis des basidiomycètes dans le bois des poteaux électriques d'HydroQuébec

Cette étude consiste principalement à déterminer le pouvoir lignivore de l'association de deux champignons (un basidiomycète, un antagoniste) ceux-ci étant implantés successivement dans un

ordre donné. Dans cette étude, on simule un traitement préventif en adoptant la séquence antagoniste-basidiomycète.

L'intérêt du traitement préventif est de pouvoir vérifier si, parmi les antagonistes retenus, un ou plusieurs manifestent un effet inhibiteur sur les basidiomycètes quand on opère sur du bois.

Si les tests mis en place lors de cette expérimentation sont très simplificateurs ils restent indispensables et incontournables puisqu'ils sont proches des conditions naturelles.

4.2.1. Détermination du pouvoir lignivore

Le pouvoir lignivore d'un champignon est généralement défini par la perte de masse qu'il occasionne à des éprouvettes de bois pendant un temps d'exposition donné.

La méthode consiste à implanter le ou les champignons à tester dans des éprouvettes de bois de poids sec connu, puis de les faire incuber dans des conditions contrôlées de température et d'humidité.

Après incubation, on détermine le nouveau poids sec final des éprouvettes et on calcule l'éventuelle perte de masse.

La méthode utilisée est en grande partie issue de celle décrite dans la norme européenne EN 113.

4.2.2. Méthodologie

Les éprouvettes des poteaux électriques dont le poids anhydre initial a été déterminé sont stérilisées par autoclave.

Chaque éprouvette stérilisée est d'abord posée sur une culture du champignon antagoniste à étudier, puis retirée après 6 semaines pour être immédiatement placée sur une culture de basidiomycète.

Tout ceci se déroule en boîtes de Pétri : 1 éprouvette de bois par boîte et cela cinq répétitions par espèce d'antagoniste soit 60 dispositifs à mettre en place (5 répétitions X 4 basidiomycètes X 3 antagonistes = 60 boîtes). Les 60 boîtes de Pétri sont disposées en chambre obscure à 23°C et 75% d'humidité relative.

Au bout de ces 6 semaines de mise en présence « éprouvettes-antagonistes », on place ces éprouvettes sur une culture de basidiomycète et l'incubation sur le basidiomycète dure 6 semaines (figure 13). Tout ceci se déroule également en boîtes de Pétri : 1 éprouvette de bois infesté par

l'antagoniste par boîte et cela cinq répétitions par espèce d'antagoniste soit 60 dispositifs à mettre en place (5 répétitions X 4 basidiomycètes X 3 antagonistes = 60 boîtes). Les 60 boîtes de Pétri sont disposées en chambre obscure à 23°C et 75% d'humidité relative.

Au bout de ces 6 semaines, le poids sec final est déterminé : toutes les pertes de masse sont exprimées en pourcentage par rapport au poids anhydre initial.

Pour évaluer la perte de masse une série d'éprouvettes sera soumise seulement à l'action de l'antagoniste appelées « témoins antagonistes » et une autre série sera soumise seulement à l'action des basidiomycètes appelées « témoins basidiomycètes ». Ces éprouvettes permettront d'évaluer par comparaison, l'effet antagoniste des *Trichoderma*.



Figure 13 : Eprouvette infestée par *Trichoderma viride* et mise en présence avec *Coniophora puteana*



Figure 14 : Eprouvette infestée par *Trichoderma viride* après 6 semaines mise en présence avec *Antrodia sp.*

4.2.3. Résultats

Le tableau 1 fournit les moyennes des pertes de masse du bois obtenues avec tous les champignons antagonistes seuls (témoins antagonistes), les basidiomycètes seuls (témoins basidiomycètes) et les éprouvettes qui ont été mises en présence avec les basidiomycètes « antagonistes-basidiomycètes ».

Tableau 1 : Moyennes des pertes de masse en % de toutes les éprouvettes observées après 6 semaines d'exposition.

	<i>Coniophora puteana</i>	<i>Antrodia sp.</i>	<i>Coriolus versicolor</i>	<i>Pycnoporus sanguineus</i>	Témoins antagonistes
<i>Trichoderma konigii</i>	3.18	0.75	1.56	1.83	1.4
<i>Trichoderma harzianum</i>	3.21	6.5	2.37	2.18	1.0
<i>Trichoderma viride</i>	3.67	0.51	1.67	2.56	0.7
Témoins basidiomycète	5.8	64.42	19.61	9.07	

- Après 6 semaines, les témoins basidiomycètes présentent globalement des pertes de masse bien significatives. Cela montre que nos souches sont virulentes vis-à-vis du pin rouge.

Nous notons qu'*Antrodia sp.*, champignon de pourriture cubique et de zone tropicale attaque de façon significative le bois : la perte de masse est de 64.42%. Nous constatons que *Coniophora puteana*, également champignon de pourriture cubique mais de zone tempérée se caractérise par une croissance lente dans le pin rouge : la perte de masse ne représente que 5.8%.

Coriolus versicolor et *Pycnoporus sanguineus*, champignons de pourriture fibreuse présentent des pertes de masse significatives. Cependant, *Coriolus versicolor* attaque plus vite le bois que *Pycnoporus sanguineus*.

- Après 6 semaines, les témoins antagonistes provoquent des pertes de masse faibles et négligeables : de 0.51 à 3.67% toutes souches confondues. Ces résultats sont facilement explicables, étant donné que ces champignons du genre *Trichoderma* ne sont pas des champignons lignivores propres et ne se nourrissent que d'éventuelles substances de réserve contenues dans le bois.

- Après 6 semaines, les éprouvettes « antagonistes-basidiomycètes » provoquent des pertes de masse faibles par rapport aux témoins basidiomycètes.

On constate un effet antagoniste marqué des *Trichoderma konigii* et *viride* sur *Antrodia* sp. et *Coriolus versicolor* : les pertes de masse sont comparables à celles obtenues avec les seuls champignons antagonistes (témoins antagonistes). Malgré des pertes de masse plus fortes vis-à-vis de *Trichoderma harzianum*, ce dernier présente un effet antagoniste non négligeable vis-à-vis de ces deux champignons.

Les pouvoirs lignivores de *Coniophora puteana* et de *Pycnoporus sanguineus* semblent inhibés quel que soit l'antagoniste qui leur est confronté. Dans ce cas, les pertes de masse sont faiblement supérieures à celles obtenues avec les seuls champignons antagonistes (témoins antagonistes).

4.2.4. Conclusion

Ces essais sur bois semblent beaucoup plus nets et beaucoup plus significatifs que ceux obtenus en confrontation directe « basidiomycète/ antagoniste » en boîte de Pétri. Ils font apparaître des cas d'antagonisme qui n'existaient pas dans la première expérimentation. Compte tenu de la variabilité liée au substrat, aux conditions expérimentales, une comparaison paraît toutefois difficile.

V. CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES

Les résultats semblent se compléter généralement de façon cohérente. Ils montrent la non-agressivité du groupe des champignons des *Trichoderma* vis-à-vis du bois et les résultats obtenus après confrontation directe « basidiomycète/ antagoniste » en boîte de Pétri se confirment dans le bois.

A ce jour, les phénomènes qui ont été observés ne tiennent compte que de la notion de place disponible et de place occupée. De futures études relatives aux substances diffusibles et volatiles devraient mettre en évidence les productions d'antibiotiques chez les antagonistes du genre *Trichoderma*.

Afin de donner une réelle valeur à l'application des antagonismes dans les traitements préventifs des poteaux électriques d'HydroQuébec contre la pourriture, il faudrait poursuivre des expérimentations telles que des expérimentations avec deux ou plusieurs espèces d'antagonistes

(concept de mélange) ayant la possibilité d'induire chacune des actions antagonistes de type différent et des expérimentations sur bois en conditions naturelles afin de contrôler l'effet préventif à l'égard de bois sains ou l'effet curatif à l'égard de bois en cours de détérioration. Une inoculation artificielle serait à réaliser avec des souches d'antagonistes de *Trichoderma* dans les poteaux électriques d'HydroQuébec traités de CCA et de PCP et infectés au niveau du sol avec des basidiomycètes lignivores.